

В. С. ШАЙДУРОВ, С. Г. НАРИНЯН

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ВЫСОКОГОРНЫМИ РАСТЕНИЯМИ АРАГАЦА

Проблема утилизации солнечной энергии при фотосинтезе помимо теоретического интереса имеет и большое практическое значение, поскольку фотосинтетические продукты являются первоисточником пищевых ресурсов для всех живых организмов. Растение использует и накапливает в связанном виде только небольшую часть из поглощенной солнечной энергии. Установлено, что коэффициент использования солнечной энергии при фотосинтезе (КПД) в среднем на земном шаре составляет 0,5—1%, а в некоторых случаях 2—5% [4, 13, 15, 21, 22].

При внесении удобрения, орошении и хорошем уходе за растениями КПД можно повысить до 5—8% от интегральной радиации и до 10—16% от фотосинтетически активной [10—12, 14].

КПД обычно рассчитывается по количеству энергии, непосредственно используемой на процесс фотосинтеза, поэтому большое внимание уделяется определениям максимальной интенсивности фотосинтеза. После опытов Бонье [20, 24] сложилось представление о том, что в горах по мере увеличения высоты местообитания растения возрастает их ассимиляционная способность. На Памире [19] и в Альпах [25] зафиксировано, что величины ассимиляции CO_2 у некоторых растений достигают 50—100 мг/дм² час. Некоторые авторы [2, 5, 6], сравнивая максимальные величины интенсивности фотосинтеза некоторых памирских растений и растений других географических зон [14], пришли к выводу, что высокогорные растения обладают наивысшей фотосинтезирующей способностью.

Однако этот вывод, справедливый для многих растений Восточного Памира, по-видимому, нельзя распространять на все типы высокогорий. Все элементы климата разнообразны в различных горных областях [3]. Например, в Альпах с влажным климатом [23] луговые растения характеризуются сравнительно низкой ассимиляционной деятельностью, не превышающей 30 мг CO_2 на 1 г сухого веса в час. То же самое можно сказать о хвойных (сосне и ели), произрастающих на альпийской границе леса (2000 м над ур. моря) [27, 28].

В условиях умеренно влажных высокогорий Таджикистана также наблюдается пониженный фотосинтез. Имеются данные [8, 9], свидетельствующие о снижении интенсивности фотосинтеза одних и тех же видов по мере повышения высоты их обитания. Например, у *Festuca sulcata* на высоте 3500 м интенсивность потенциального фотосинтеза была 34 мг/дм² час, а на высоте 2400 м—53 мг/дм² час. У нескольких представи-

Биологический журнал Армении, XX, № 7—3

телей осок и мятлика фотосинтез в Душанбе, на высоте 740 м над ур. моря был выше, чем на высотах 1660, 2400 и 3500 м. Т. А. Глаголева и др. [2], получившие у ряда растений более высокий эффект фотосинтеза на высоте 3860 м по сравнению с высотой 2400 м, вместе с тем отмечают его снижение на высоте 4750 м.

На горе Арагац, на высотах свыше 3000 м над ур. моря, кроме голых скал, каменистых осыпей и россыпей, имеются довольно большие плоские слабонаклонные участки, занятые альпийскими лугами-коврами, которые используются в качестве пастбищ отгонного овцеводства. Здесь на протяжении всего вегетационного периода условия произрастания растений крайне суровы: резкие колебания температуры, интенсивная солнечная радиация, богатая ультрафиолетовыми лучами, небольшое количество осадков, выпадающих подчас в виде мокрого снега, града или крупы. Почва бедна питательными веществами. Такой комплекс условий предопределяет продуктивность высокогорных пастбищ и величину КПД. Однако каков бы ни был КПД, в конечном счете именно он является регулятором продуктивности скота на пастбищах.

Высокогорные растения Арагаца несут черты приспособленности к условиям обитания. Листья розеточных и злаковых растений располагаются у самой поверхности почвы, где теплее всего и где они быстро нагреваются солнечными лучами. Когда на высоте 1,5 м над землей температура едва достигает 15—16°, температура листьев, распростертых над поверхностью почвы, равняется 28—33°. При этом листья теплее у приземного слоя воздуха на 2—4°, вследствие чего большая доля из поглощенной листом энергии тратится на теплопередачу. Много энергии тратится и на транспирацию. В полуденное время транспирация листьев у *Carex tristis* бывает 2,0 г, у *Taraxacum stevenii* 3,6 г, у *Veronica gentianoides* и *Campanula tridentata* 4,5—5,0 г/дм² час.

Полученные нами величины фотосинтеза у высокогорных растений Арагаца нельзя считать высокими. Интенсивность фотосинтеза мы определяли методом Чацкого и Славика при естественной концентрации CO₂ в воздухе, а интенсивность солнечной радиации с помощью пиранометра Янишевского. Интенсивность фотосинтеза у *Chamaecisium acaule*, *Gagea anisanthos*, *Carex tristis*, *Colpodium araraticum* не превышает 5 мг/дм² час, а у растений, которые занимают доминирующее положение в коврах — значительно выше, у *Campanula tridentata*—8—18 мг, *Taraxacum stevenii*—8—10 мг, *Festuca ovina*—5—12 мг/дм² час. Отсюда КПД при радиации 8,0 кал/дм² час у первой группы равняется 0,04—0,16%, у второй—0,27—0,59%.

Т. В. Фалькова [16], изучавшая энергетику фотосинтеза у растений Памира, получила более высокие значения КПД—от 0,97 до 2,82%; еще выше —10,6%, получила Т. А. Глаголева [1], производившая расчет по максимальной потенциальной интенсивности фотосинтеза. Ю. С. Насыров и др. [8], производившие определения по потенциальной интенсивности фотосинтеза и в расчете на фотосинтетически активную радиацию, уста-

новили, что КПД у высокогорных растений Таджикистана доходили до 16—25%, что во много раз выше реальных.

Таблица 1

Максимальная интенсивность фотосинтеза и коэффициент использования солнечной энергии у высокогорных растений Арагаца при интенсивности солнечной радиации 8,0 ккал/дм² час

Название растений	Максимальная интенсивность фотосинтеза мг/дм ² час	Коэффициент использования радиации в %
<i>Campanula tridentata</i>	18,6	0,59
<i>Festuca ovina</i>	12,1	0,38
<i>Taraxacum stevenii</i>	10,0	0,31
<i>Veronica gentianoides</i>	8,5	0,27
<i>Colpodium araraticum</i>	5,0	0,16
<i>Cirsium esculentum</i>	4,9	0,15
<i>Gagea anisanthos</i>	3,6	0,11
<i>Carex tristis</i>	3,3	0,10
<i>Chamaescadium acaule</i>	1,4	0,04

Мы считаем, что правильнее рассчитывать КПД не от величины фотосинтетически активной радиации и не по максимальной интенсивности фотосинтеза, а от радиационного баланса, т. е. той части суммарной радиации, которая остается в распоряжении растений (вернее подстилающей поверхности) и по чистой продуктивности фотосинтеза или общей калорийности органической массы растений, накопленной за вегетационный период [18]. Необходимо учитывать, что величина максимального фотосинтеза не говорит о продуктивности растений. Растения могут на короткое время показать рекордную интенсивность фотосинтеза, а в остальное время—низкую, или даже выделять СО₂ и в итоге за год будет накоплен ничтожный вес органической массы. Именно так и получается с растениями на Памире.

Интегральную продуктивность фотосинтеза мы определяли по количеству сухого вещества, накапливаемого растениями на 1 м² площади дуга за вегетационный период. Опыты проводились в течение 4 лет, начиная с 1961 г. на Арагацком стационаре Ботанического института АН АрмССР. На огороженной от скота части пастбища, на высоте 3200 м над ур. м., было выделено три участка с разным видовым составом травостоя: злаковый, разнотравный и разнотравно-злаковый.

Регулярно, через декаду с этих участков бралась проба на сухой вес травы. На участках выделялись по три однометровые площадки и с них срезалась вся надземная масса растений.

Приведенные в табл. 2 данные прироста сухой массы за месяц и за день подсчитаны по средним урожаям травы за июль и август.

Средние приросты за месяц низкие: на злаковом участке 18,3 г, разнотравно-злаковом 23,7 и на разнотравном 55,0 г на м².

Таблица 2

Урожай сухой надземной массы трав (г/м²) на трех участках пастбища с разным составом травостоя (среднее из 3-х повторностей), Арагац, 1962 г.

Дата учета	Состав травостоя		
	злаковый	разнотрав- но-злаковый	разнотрав- ный
6.VII	18,8	14,7	36,2
16.VII	22,3	30,5	38,5
26.VII	39,6	40,0	37,9
6.VIII	48,8	67,4	94,8
16.VIII	41,6	46,1	94,0
26.VIII	45,2	42,9	88,6
Средний прирост за месяц	18,3	23,7	55,0
Прирост за 1 день	0,61	0,79	1,89

Определив суммарную поверхность листьев всех растений на 1 м² пастбища, которая оказалась равной на злаковом участке 0,6 м², разнотравно-злаковом 2,3 и на разнотравном 2,6 м², мы подсчитали чистую продуктивность фотосинтеза. На этих участках она соответственно равнялась 0,92, 1,32 и 0,78 г/м² сутки.

Для подсчета КПД на арагацских пастбищах за вегетационный период мы использовали актинометрические данные Джермукской высокогорной метеорологической станции. Суммарная радиация за вегетационный период 1962 г. равнялась 34,6 ккал на 1 см², а величина радиационного баланса за тот же период 18,1 ккал. Исходя из общей урожайности и приняв калорийность 1 г сухой травы за 4800 ккал., находим, что на 1 м² пастбища за лето на первом участке накапливается 217 ккал., на втором 250, на третьем—444 ккал.

Таблица 3

Влияние минеральных удобрений на урожай сухой массы ковровых растений с 1 м² в г в 1963 г. (при трехкратной повторности)

Название растений	Урожай (г/м ²)				
	без удоб- рений	N	P	NP	NPK
<i>Taraxacum stevenii</i>	13,0	18,2	14,0	43,0	36,1
<i>Campanula tridentata</i>	10,9	12,8	11,0	14,7	17,3
<i>Cirsium esculentum</i>	4,4	15,6	8,1	5,4	2,9
<i>Colpodium araraticum</i>	2,6	2,6	1,3	3,0	4,9
<i>Festuca ovina</i>	1,8	2,3	2,5	2,2	8,8
<i>Subbaldia parviflora</i>	1,1	0,7	1,1	0,2	0,1
<i>Carum caucasicum</i>	0,9	3,8	1,5	1,5	8,6
<i>Minuartia oreina</i>	0,8	1,3	0,6	0,0	0,0
Разное	2,7	3,6	5,0	7,2	4,8
Всего с 1 м ²	38,2	60,9	45,1	77,2	83,5

На первом участке КПД равен 0,06, на втором 0,07 и на третьем 0,13%. На фотосинтез тратится соответственно 0,12, 0,14 и 0,25% радиационного баланса.

На разнотравно-злаковом участке пастбища был заложен опыт с минеральными удобрениями. Азотно-фосфорные удобрения удвоили урожай травы, а полная смесь удобрений увеличила урожай в 2,2 раза (табл. 3), в этом случае КПД повысился с 0,05 до 0,11 %, от интегральной радиации.

Кроме повышения продуктивности пастбища, удобрения до некоторой степени улучшают видовой состав травостоя. На полной смеси удобрения повышается участие в урожае видов доминантов — *Campanula tridentata* и *Taraxacum stevenii* и сокращается участие видов *Sibbaldia parviflora*, *Minuartia oreina*, *Cirsium esculentum*, которые плохо поедаются овцами и являются сорняками пастбища.

Как видим, коэффициент использования солнечной энергии в фотосинтезе высокогорных растений Арагаца очень мал. При использовании минеральных удобрений КПД ковровых растений увеличивается в два раза и больше.

Ботанический институт
АН АрмССР

Поступило 20.II 1966 г.

Վ. Մ. ՇԱՅԳԱՌԻՐՈՎ, Ս. Գ. ՆԱՐԻՆՅԱՆ

ԱՐԵՎԱԿԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ԱՐԱԳԱՏԻ ԲԱՐՁՐԱԼՆՈՒՄՆԵՐ ԲՈՒՅՍԵՐԻ ԿՈՂՄԻՑ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հայտնի է, որ ֆոտոսինթեզի միջոցով օգտագործվող արեգակնային էներգիայի գործակիցը երկրագնդի վրա միջին հաշվով կազմում է 0,5 %, իսկ մի քանի դեպքում՝ 2—5 %: Օգտագործելով բույսերի պարարտացումը, ոռոգումն ու խնամքը, արեգակի ճառագայթների օգտագործման գործակիցը կարելի է հասցնել 3 %-ի:

Ըստ մի շարք գիտնականների տվյալների, ֆոտոսինթեզի պրոցեսը բարձրալեռնային բույսերի մոտ աճում է, աճում է և նրանց ասիմիլացնելու էնդոնակոթյունը: Շվեյցարական Ալպերում և Պամիրում կատարված հետազոտությունները ցույց են տվել, որ լեռնային բույսերն ունեն ֆոտոսինթեզման ամենաբարձր ընդունակություն:

Բայց այդ ընդունակությունը հավասարաչափ է ոչ բոլոր լեռներում, օրինակ՝ ֆոտոսինթեզման ընդունակությունը Պամիրի բույսերի համար շատ բարձր է, իսկ Շվեյցարական Ալպերում բավական ցածր է շնորհիվ նրանց ցուրտ ու խոնավ կլիմայի, որը չի նպաստում բույսերի ասիմիլացիոն ընդունակությանը: Ալպերում ասիմիլացիոն գործակիցը չի բարձրանում 30 մլ/գ-ից CO_2 -ի 1 գ չոր նյութի նկատմամբ մեկ ժամում: Կան տվյալներ, որոնք վկայում են, որ միևնույն տեսակի բույսը տարբեր բարձրության վրա ցույց է տալիս ֆոտոսինթեզի տարբեր ցուցանիշներ:

Արագածում, ծովի մակարդակից 3000 մ բարձրության վրա, ցերեկվա գիշերվա ջերմաստիճանների տատանումների շնորհիվ, բույսերի կողմից էլանվող արեգակնային էներգիան ծախսվում է տաքությունը հաղորդելու և

տրանսպիրացիա կատարելու համար, ուստի ֆոտոսինթեզի գործակիցը այս-տեղ շատ ցածր է, մի շարք բուսատեսակների մոտ դեցիմետր մակերեսի վրա, այն հասնում է միայն 5 մլ/գ-ի, Արագածի ալպյան գոտում բուսական համա-կեցություններում տիրապետող եռատամ զանգակածաղիկը (*Campanula tridentata*) ֆոտոսինթեզի գործակիցը հասնում է 8—18 մլ/գ-ի, իսկ արեգակ-նային էներգիայի օգտագործման գործակիցը հասնում է 0,16 մլ/գ-ից մինչև 0,5%-ի, այն ժամանակ, երբ Պամիրի պայմաններում այն կազմում է 0,9-ից մինչև 2,8%:

Արգեն հինգ տարի է, ինչ Արագածի ալպյան արոտներում փորձեր են տարվում երեք տիպի արոտավայրերի վրա՝ որոշելու նրանց արդյունավետու-թյունը: Առաջին տիպում գերակշռում են հացազգի խոտերը, երկրորդում՝ հա-ցազգիներն ու ալլախոտերը, երրորդում՝ տարախոտերը:

Ամառվա ընթացքում, յուրաքանչյուր տասնօրյակում ամեն մի արոտային տիպից 3 մ² տարածության վրա հնձվում է խոտը և այգալիսով որոշվում է մի-ջին բերքատվության դինամիկան վեգետացիոն շրջանում: Նաև որոշվել է բույ-սերի կանաչ զանգվածի մակերեսի չափը 1 մ² վրա: Այգալիսին հացազգի արո-տավայրերում հասնում է 0,6 մ²-ի, բազմախոտյա-հացազգիների մոտ՝ 2,3 մ²-ի, իսկ բազմախոտյա գորգերում՝ 2,6 մ²-ի: Ֆոտոսինթեզի արդյունավե-տությունը այդ տեղամասերում համապատասխանաբար կազմում է 0,9 1,32, 0,78 գ/մ², մեկ օրվա ընթացքում:

Արեգակնային ճառագայթների օգտակար գործողության գործակիցը հաշ-վելու համար տվյալները վերցրել ենք Զերմուկի օդերևութաբանական կայա-նից: Գումարային ռադիացիան 1962 թ. վեգետացիոն շրջանում կազմել է 34,6 կալորիա 1 սմ²-ի վրա, իսկ ռադիացիոն բալանսը այդ ժամանակաշրջա-նում եղել է 18,1 կգ կալորիա: Նշելով ընդհանուր բերքատվությունից և ըն-դունելով, որ 1 գ չոր զանգվածի կալորիականությունը հավասար է 4800 կգ կալորիայի, գտնում ենք, որ 1 մ² տարածության վրա ամառվա ընթացքում առաջին տիպի արոտավայրերում կուտակվում է 217 կգ կալորիա, երկրորդում՝ 250 կգ կալորիա, իսկ երրորդում՝ 444 կգ կալորիա:

Նշելով այդ տվյալներից, արևի օգտակար գործողության գործակիցը առաջին արոտավայրում հավասար է 0,06%-ի, երկրորդում՝ 0,07%-ի, իսկ երրորդում՝ 0,13%-ի: Այսպիսով, ֆոտոսինթեզի համար համապատասխանա-բար ծախսվում է ռադիացիոն բալանսի 0,12%-ը, 0,14%-ը, և 0,25%-ը: Մեր փորձերը ցույց են տվել, որ բազմախոտյա-հացազգիների արոտավայրերի լրիվ պարարտացումը խոտի բերքատվությունը բարձրացնում է 2,2 անգամ, այս դեպքում արեգակի ճառագայթների օգտակար գործողության գործակիցը բարձ-րացել է 0,5-ից մինչև 0,11%:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Глаголева Т. А. Бот. журнал, 47, 11, 1962.
2. Глаголева Т. А., Филиппова Л. А. Проблемы ботаники, 7, 1965.
3. Гурский А. В., Остапович Л. Ф., Соколов Ю. Л. Проблемы ботаники, 7, 1965.
4. Дояренко. Научно-агроном. журнал, 1, 7, 1924.
5. Заленский О. В. Вопросы ботаники, вып. 1, М.—Л., 1954.
6. Заленский О. В. Тр. Памирской биол. ст., I, 1963.

7. Логинов М. А., Насыров Ю. С. Потенциальная интенсивность и продуктивность фотосинтеза растений. Тем. сб. 2. Душанбе, 1963.
8. Насыров Ю. С., Логинов М. А. Тем. сб. 2. Душанбе, 1963.
9. Насыров Ю. С., Рахманина К. П. Проблемы ботаники, 7, 1965.
10. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высших урожаев. Тимирязевск. чтения, 15, Изд. АН СССР, 1956.
11. Ничипорович А. А. КПД зеленого листа. Изд. Знание, М., 1964.
12. Оконенко А. С., Смелянская Е. П., Погальская В. И., Митрофанов Б. А., Белоус И. И., Гавва И. А. Сб.: Фотосинтез и продуктивность растений. Киев, Наукова думка, 1965.
13. Пуриевич К. Исследования над фотосинтезом. Киев, 1913.
14. Рабинович Е. Фотосинтез, 2, СЛ., М., 1953.
15. Тимирязев К. А. Собрание сочинений, т. 3, Сельхозгиз, 1937.
16. Фалькова Т. В. Тем. сб. 2, Душанбе, 1963.
17. Филиппова Л. А. Экспорт. бот. сер. 4, 13, 1953.
18. Шайдуров В. С. Тр. лаб. им. Б. А. Келлера. Физ. вопросы северн. растениеводства, изд. Науки, М., 1965.
19. Blagowestschenski V. A. Planta, Bd 24, 1935.
20. Bonnier G. Rev. gén. de Bot. v. 6, 1894.
21. Bray I. R. Plant. Physiol 36, 3, 1961.
22. Brown H. Esconibe. Proc. Roy Soc. of London, ser. B 76, 29, 1905.
23. Cartellieri E. Sitz. ber, Acad. d. Wiss in Wien Bd. 149, Hf 3.
24. Henrici M. Verhandl. nat. Ges. Basel, Bd 32, 1921.
25. M nlich I. Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 84, 4, 1937.
26. Pisek A. Handb. d. Pflanzenphysiol. Bd. 5, 1960.
27. Pisek A. Winkber Planta Bd. 51, Hf 1, 1958.
28. Tranquillini W. Planta Bd. 46, Hf 2, 1955.